

FUZZY CONTROLLER PADA SISTEM PENGERING KAYU TENAGA SURYA

Zakarias Situmorang¹, Retantyo Wardoyo², Sri Hartati², Jazi Eko Istiyanto²

¹Fak. Ilmu Komputer Universitas Katolik St. Thomas SU

Jl. Setia Budi No.479-F Tanjungsari Medan 20132 Telp. (061)8210161, Fax. (061) 8213269

²Program Magister dan Doktor Ilmu Komputer Gedung Student Internet Center (SIC) Lantai III FMIPA
UGM, Sekip Utara Bulaksumur Yogyakarta Telp./Fax. (0274) 555133

e-mail : ¹zakarias65@yahoo.com

Abstrak

Fuzzy controller dengan variabel masukan nilai pengukuran radiasi surya dan temperature ambient dilakukan untuk mengaktifkan heater, sebagai sumber alternatif sumber energi untuk menaikkan temperatur chamber pada sistem pengering kayu tenaga panas surya. Variabel radiasi surya dan temperatur ambient dirancang rule kontrolnya dengan labelisasi membership function melalui nilai error dan change in error, sehingga pada energi surya dinyatakan oleh kondisi cuaca yaitu sangat cerah, cerah, sedang, mendung, dan sangat mendung. Labelisasi dari membership function yang digunakan untuk temperature ambient dinyatakan oleh kondisi cuaca yaitu label dingin, agak dingin, sejuk, sedang, hangat, agak panas, panas. Untuk mengantisipasi perubahan temperature ambient dilakukan labelisasi untuk membership function perubahan temperatur ambient dinyatakan oleh small, small-medium, médium, médium-large, dan large dalam bentuk fungsi fuzzy set segitiga dan trapesium.

Diperoleh 8 rule kontrol heater yang digunakan dengan memanfaatkan operator logika fuzzy yang diimplementasikan pada alat pengering kayu tenaga surya. Kinerja fuzzy controller ini akan mengoptimalkan pemakaian energi surya, untuk meminimalkan konsumsi energi listrik oleh heater. Rule kontrol heater ini diperlukan untuk mempertahankan suatu kondisi keadaan chamber sesuai jadwal pengeringan kayu.

Kata kunci : Fuzzy Controller , rule control heater, jadwal pengeringan.

1. PENDAHULUAN

Pada sistem pengeringan kayu variabel yang dikontrol adalah temperatur dan humiditi udara dari ruang pengering (*chamber*) sesuai kandungan kadar air kayu. Untuk itu diperlukan suatu sistem kontrol yang mengontrol aktuatur yang berupa *heater*, *sprayer* dan *dampener* guna mempertahankan kondisi ruang pengering sesuai jadwal pengeringan. Sumber energi yang utama pada ruang pengering berasal dari panas surya yang diberikan oleh kolektor dan panas tambahan oleh heater. Jumlah energi yang diberikan oleh kolektor berdasarkan intensitas cahaya surya, sedangkan heater memberikan panas melalui pemanas elektrik.

Dalam memaksimalkan penggunaan energi surya, maka perlu dilakukan suatu sistem pengontrolan yang tanggap akan perubahan besaran energi surya dan temperatur lingkungan. Adapun tujuannya untuk mengoptimalkan penggunaan energi surya serta cepat tanggap akan perubahannya. Proses ini akan memberikan harapan akan penggunaan minimal dari energi elektrik dan sistem cepat merespon perubahan-perubahan akan kondisi lingkungan.

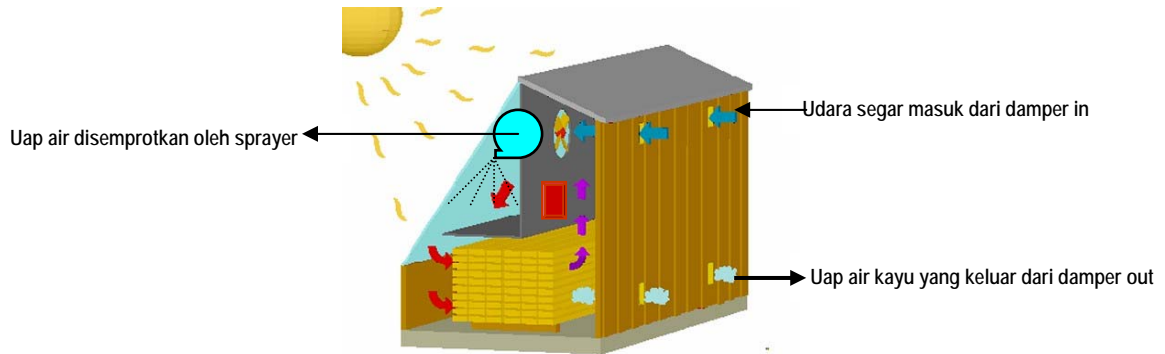
Pada sistem pengontrolan ruang pengering kayu tenaga panas surya ini diperlukan suatu jadwal pengeringan yang sedemikian rupa menjadi acuan proses. Karena proses pengeringan kayu mempunyai jadwal yang sangat tergantung pada kondisi kandungan kadar air kayu, dimana jika kadar air kayunya makin kecil maka diperlukan temperatur chamber semakin tinggi dan sebaliknya untuk humiditi chamber akan semakin kecil. Kondisi ruang pengering yang berbeda-beda pada setiap tahapan, akan memberikan ketergantungan energi tersendiri, sehingga diperlukan besaran variabel radiasi surya dan temperatur ambient sedemikian rupa untuk dirancang rule kontrolnya dengan labelisasi membership function dari nilai error dan change in error sesuai pengalaman akan pengukuran riil.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Alat Pengering Kayu Tenaga Panas Surya

Sistem kerja alat pengering kayu tenaga panas surya ini, bahwa energi radiasi matahari dikumpulkan menjadi energi panas oleh kolektor surya. Selanjutnya dengan bantuan kipas, udara panas dari kolektor dialirkan ke ruang

pengering. Pengkondisian ruang pengering pada temperatur dan humiditi tertentu memerlukan pengontrolan, dimana apabila temperatur ruang pengering kurang diperlukan tambahan energi panas, yaitu dari heater yang memberikan panas dengan radiasi; dan bila kelebihan panas maka dilakukan pembuangan energi melalui damper/ventilasi. Untuk kekurangan kelembaban maka uap air dari sprayer disemprotkan dan bila kelebihan kelembaban dapat dilakukan pembuangan melalui damper. Sistem kerja alat ini diberikan pada gambar 1.



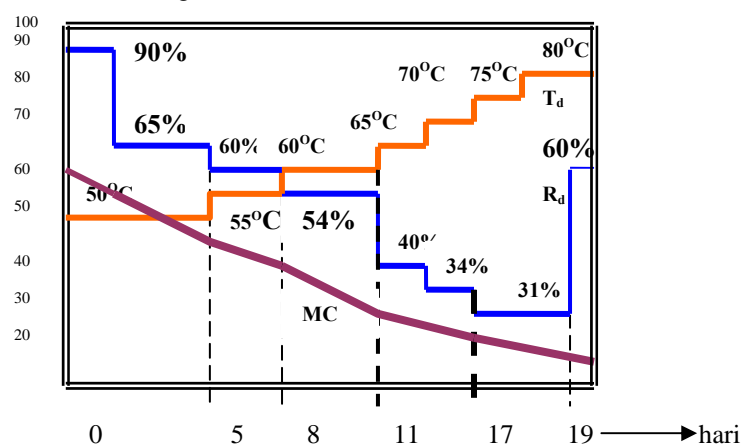
Gambar 1. Sistem kerja alat pengering kayu tenaga panas surya

Kayu yang akan dikeringkan ditempatkan diruang pengering yang berukuran 60 cm x 50 cm x 50 cm yang berkapasitas : 150.000 cm³ atau 0.15 m³. Agar sirkulasi udara merata pada seluruh bagian permukaan kayu maka masing-masing kayu satu sama lain dipisahkan oleh kayu ganjal sedemikian rupa. Kayu yang akan dikeringkan tersebut, disemprot dengan uap air dari sprayer dengan bantuan kipas sirkulasi mengalirkan uap air ke ruang pengering dan diserap oleh kayu sampai mencapai harga kadar air kayu air yang ditetapkan, disebut proses pre-heating selama [ketebalan kayu (cm) x 2 jam/cm] jam (Situmorang, Z., Karyono, 2007). Setelah mencapai kadar air kayu awal yang diinginkan sprayer di-OFF-kan, kipas sirkulasi tetap ON

Ketika sudah sore/malam hari ketika matahari tidak bersinar lagi, maka heater akan bekerja (ON), sehingga suplai panas ke ruang pengering tetap terjamin, untuk mempertahankan temperatur dan humidity ruang pengering. Dan pengeringan kayu ini dilakukan terus-menerus sedemikian rupa sampai kadar air kayu akhir dicapai. Dan sebelum kayu dikeluarkan perlu dilakukan proses equalizing/conditioning, yaitu penyesuaian kondisi dengan udara luar. Dari skedul pengeringan yang ada, selalu akan dilakukan peningkatan humiditi udara dengan semprotan uap air oleh sprayer, yang bertujuan untuk menaikkan kelembaban udara ruang pengering mendekati nilai humiditi udara luar, sambil proses pengeringan tetap dilakukan.

2.2 Jadwal Pengeringan

Jadwal pengeringan kayu akan menetapkan satu siklus pengeringan yang terdiri dari beberapa tahapan proses (Sumarsono, M,dkk, 1999) dimana setiap tahapan proses variable kelembaban dan temperature dipertahankan konstan pada harga tertentu selama waktu tertentu pula. Jadwal pengeringan dalam pelaksanaan alat pengering kayu ini merupakan hasil pengalaman pengukuran yang dilakukan selama ujicoba yang berguna sebagai acuan proses pengeringan. Gambar 2, dan tabel 1. merupakan sebuah jadwal pengeringan kayu meranti yang telah digunakan dan diujicoba di Balai Besar Energi BPPT.



Gambar 2. Jadwal Pengeringan kayu

Tabel 1. Jadwal Pengeringan Kayu Meranti

Step	Set point		MC		Waktu Proses	
	T _d (°C)	R _d (%)	Awal (%)	Akhir (%)	(menit)	Jam+menit
Proses Pre-Heating	50	90	63.4	56.9	521	8 Jam + 41menit
Proses Drying I	50	65	56.9	45.4	6643	110 Jam + 43 menit
II	55	60	45.4	41.3	4281	71 Jam + 21 menit
III	60	54	41.3	33.3	4333	72 Jam + 13 menit
IV	60	40	33.3	22.6	4378	72 Jam + 58 menit
V	65	34	22.6	14.9	3584	59 Jam + 44 menit
VI	70	31	14.9	11.8	1831	30 Jam + 31 menit
VII	75	31	11.8	9.8	1471	24 Jam + 31 menit
VIII	80	31	9.8	7.8	1336	22 Jam + 16 menit
Proses Equalizing/conditioning	80	60	7.8	7.4	420	7 Jam + 00 menit
Jumlah					28. 798	19 hari + 23Jam + 58 menit

Sumber: BBE - BPPT

Secara umum perlakuan terhadap kayu yang akan dikeringkan di dalam ruang pengeringan dapat digolongkan menjadi beberapa tahapan proses, yaitu:

- a. Proses Pre-Heating
Tujuan proses ini adalah menjaga agar distribusi temperature dalam kayu merata. Disamping itu proses ini untuk menghilangkan air bebas. Pada proses ini temperature ruang pengering diatur sesuai dengan jadwal pengeringan sedangkan kelembaban dijaga pada kelembaban yang cukup tinggi sekitar 80 – 90 % dengan jalan menutup damper. Heater dan sprayer dijalankan selama 2 jam untuk setiap ketebalan kayu 1 cm.
- b. Proses Drying
Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air yang terikat di dalam sel kayu. Perubahan kadar air kayu dibawah titik serat jenuh sampai dengan 0 % akan menyebabkan perubahan dimensi kayu. Oleh sebab itu perbedaan atau gradient kadar air didaerah ini tidak boleh terlalu besar untuk menghindari keretakan/kerusakan pada kayu yang dikeringkan. Besar kadar air rata-rata yang dihasilkan pada proses ini sekitar 8 – 10 %. Pada proses ini temperature dalam ruang pengering diperlukan cukup tinggi untuk membebaskan air yang terikat didalam sel kayu, sesuai jadwal pengeringan.
- c. Proses Equalizing dan Conditioning
Pada akhir proses pengeringan, kayu berada pada lingkungan panas dan kering. Perlu diberikan proses untuk menghantarkan kayu ini pada kondisi udara luar, agar tidak terjadi suatu proses kejut atau tiba-tiba yang sering dapat mengakibatkan kerusakan kayu. Proses ini terutama dimaksudkan untuk menghantar kayu ke arah titik kadar air kayu seimbang (EMC). Waktu yang diperlukan dalam proses ini adalah 2 jam untuk setiap 1 cm ketebalan kayu.

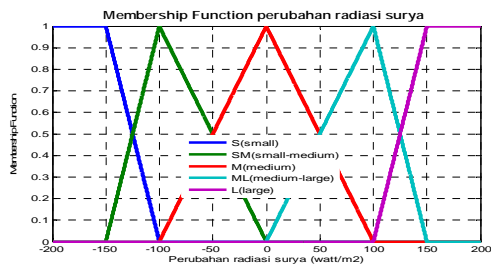
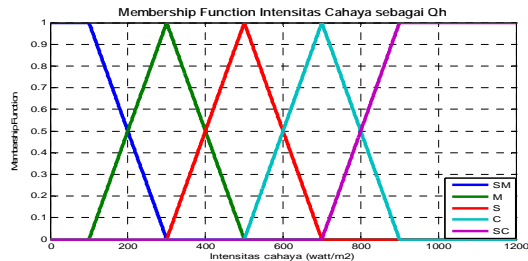
3. METODE PENELITIAN

Alat pengering buatan merupakan alat untuk mengeringkan kayu dengan sumber panas dari pemanasan elemen listrik, atau dari solar kolektor. Panas disirkulasikan oleh udara yang dialirkan melewati bahan yang dikeringkan, sehingga terjadi proses pindah panas dan massa. Sistem kontrol elektronik berguna mengontrol proses pengeringan itu sendiri. Perangkat elektronik yang terdiri atas sensor suhu, sensor kelembaban, resitor, catu daya, penguat, penyearah, kapasitor apabila dirangkai menjadi dalam suatu rangkaian tertentu dapat dipergunakan sebagai alat untuk mengontrol suhu, kelembaban, waktu proses. Informasi awal yang diterima sensor berupa hambatan listrik (resistansi) akibat perubahan suhu atau kelembaban, informasi ini dikonversi menjadi tegangan dan kemudian besaran tegangan. Apabila tegangan melebihi batas maka sistim yang memanaskan udara atau menambah kelembaban udara diputus atau dihubungkan sesuai waktu pemanasan, demikian pula sebaliknya. Informasi dari hambatan listrik diubah ke tegangan dalam sistim ini selalu linier.

Pada sistim kontrol suhu, sistim bekerja memutus dan menghubungkan arus listrik yang mengalir ke elemen pemanas. Apabila suhu udara pengering telah mencapai besaran yang diinginkan sistim memutus aliran listrik, dan sebaliknya. Pada sistim kontrol kelembaban sistim mengubah kecepatan kipas apabila kelembaban telah mencapai batas yang ditentukan, dan sebaliknya. Untuk sistim kontrol waktu proses bekerja menghentikan proses pengeringan dengan jalan memutus semua aliran listrik yang masuk ke alat pengering bila waktu proses telah tercapai.

3.1. Kontrol energi surya

Label dari membership function yang digunakan untuk error dan change in error pada energi surya dinyatakan oleh kondisi cuaca yaitu label SC(Sangat cerah), C(cerah), S(sedang), M(Mendung), dan SM(Sangat Mendung), diperlihatkan pada gambar 3. Untuk mengantisipasi keadaan cuaca melalui perubahan intensitas cahaya maka dilakukan labelisasi untuk perubahan intensitas cahaya, yaitu : S(small), SM(small-Medium), M(médium), ML(médium-large), dan L(large) Gambar 4.. Sedangkan membership function untuk perubahan intensitas cahaya diberikan kontrol terhadap variable cuaca dinyatakan didefenisikan dalam fungsi fuzzy set berbentuk segitiga dan trapesium pada tabel 2. (a). Cuaca Sangat Mendung (b). Cuaca Mendung (c). Cuaca-Sedang (d). Cuaca Cerah (e). Cuaca Sangat Cerah.



Gambar 3. Membership Function Intensitas Cahaya surya

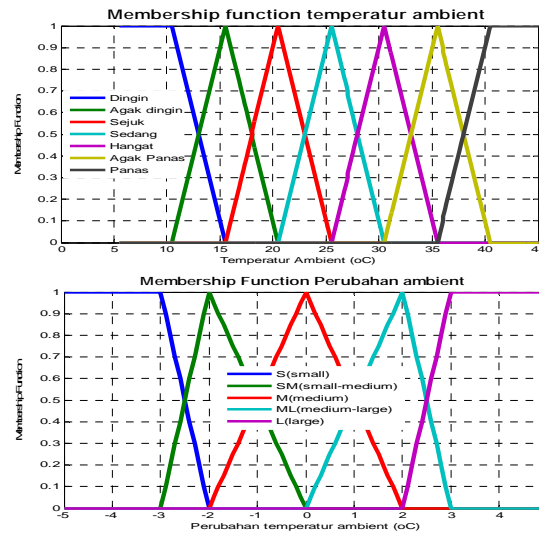
Gambar 4. Membership function perubahan radiasi

Tabel .2. Rule Kontrol membership function Cuaca

Per. cuaca \ Cuaca	Sangat Mendung	Mendung	Sedang	Cerah	Sangat Cerah
S	SM	M	S	C	SC
SM	SM	M	S	C	SC
M	SM	M	S	C	SC
ML	M	S	C	SC	SC
L	M	S	C	SC	SC

3.2. Kontrol Temperatur Ambient

Label dari membership function yang digunakan untuk temperature ambient dinyatakan oleh kondisi cuaca yaitu label dingin, agak dingin, sejuk, sedang, hangat, agak panas, panas, diperlihatkan pada gambar 5. Untuk mengantisipasi perubahan temperature ambient dilakukan labelisasi untuk membership function perubahan temperatur ambient, yaitu : S(small), SM(small-Medium), M(médium), ML(médium-large), dan L(large). Sedangkan membership function untuk perubahan temperature ambient itu didefenisikan dalam fungsi fuzzy set berbentuk segitiga dan trapesium, rule control diberikan pada gambar 6 dan tabel 3.



Gambar 5. Membership function temperature ambient Gambar 6. Membership function perubahan temperature ambient

Tabel .3. Rule Kontrol membership function Temperatur ambient

ΔT_a \ T_a	Dingin	Agak dingin	sejuk	sedang	hangat	Agak panas	panas
S	D	AD	SJ	S	H	AP	P
SM	D	AD	SJ	S	H	AP	P
M	D	AD	SJ	S	H	AP	P
ML	D	AD	SJ	S	H	AP	P
L	AD	SJ	S	H	AP	P	P

Metoda yang dipilih untuk defuzzifikasi adalah perkalian dari luas area membership function dan pusat grafitasi masing-masing dibagi dengan jumlah dari luas area membership function (center of gravity). Luas area membership function diperoleh dengan korelasi perkalian teknik encoding, yaitu perpotongan nilai membership function dari nilai rule untuk setiap bentuk membership function.

Defuzzifikasi untuk control energy surya dan temperature ambient dilakukan dengan rule sesuai tabel 4. rule kontrol energi dan temperature ambient, memberikan waktu untuk mengaktifkan heater.

Tabel .4. Rule Kontrol Energi dan temperature ambient

T_a \ Cuaca	Sangat Mendung	Mendung	Sedang	Cerah	Sangat Cerah
Dingin	L1	M1	S1	S3	Z
Agak dingin	L1	M1	S1	S3	Z
sejuk	L1	M1	S1	Z	Z
sedang	L1	M1	S1	Z	Z
hangat	L1	M1	S2	Z	Z
Agak panas	L1	M2	S2	Z	Z
panas	L2	M2	S2	Z	Z

Memanfaatkan *besarnya energy surya* serta *temperature ambient* sebagai variable control pada sistem fuzzy control disebut dengan **Rule SUR-AM**, yang diungkapkan dalam bentuk IF X_1 is P_1 AND X_2 is P_2 THEN Y is Q, yang dimanfaatkan pada penggunaan fuzzy controller dalam mempertahankan kondisi ruang pengering pada nilai set point.

Ada 8 rule Sur-Am untuk control heater yang dianalisa memanfaatkan operator logika fuzzy:

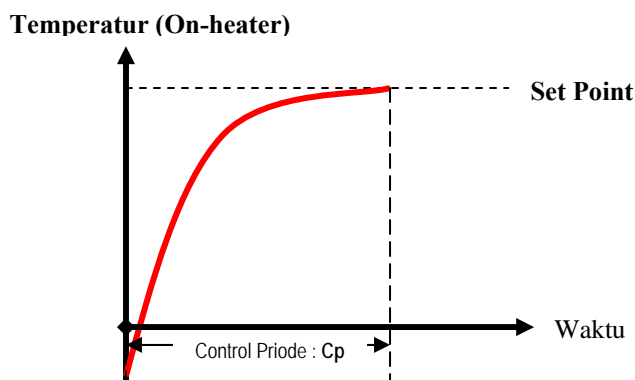
- i. IF cuaca is sangat_Mendung AND temperatur_Ambient is dingin OR temperatur_Ambient is agak_Dingin OR temperatur_Ambient is sejuk OR temperatur_Ambient is sedang OR temperatur_Ambient is hangat OR temperatur_Ambient is agak_Panas THEN heater is large1.
- ii. IF cuaca is sangat_Mendung AND temperature_Ambient is panas THEN heater is large2.
- iii. IF cuaca is mendung AND temperatur_Ambient is dingin OR temperatur_Ambient is agak_Dingin OR temperatur_Ambient is sejuk OR temperatur_Ambient is sedang OR temperatur_Ambient is hangat THEN heater is medium1

- iv. IF cuaca is Mendung AND temperature_Ambient is agak_Panas OR temperature_Ambient is panas THEN heater is medium2
- v. IF cuaca is sedang AND temperatur_Ambient is dingin OR temperatur_Ambient is agak_Dingin OR temperatur_Ambient is sejuk OR temperatur_Ambient is sedang THEN heater is short1.
- vi. IF cuaca is Mendung AND temperature_Ambient is hangat OR temperature_Ambient is agak_Panas OR temperature_Ambient is panas THEN heater is short2
- vii. IF cuaca is cerah AND temperatur_Ambient is dingin OR temperatur_Ambient is agak_Dingin THEN heater is short3.
- viii. IF cuaca is cerah AND temperatur_Ambient is sejuk OR temperatur_Ambient is sedang OR temperatur_Ambient is hangat OR temperatur_Ambient is agak_Panas OR temperatur_Ambient is panas THEN heater is zero; OR
IF cuaca is sangat_Cerah AND temperatur_Ambient is dingin OR temperatur_Ambient is agak_Dingin OR temperatur_Ambient is sejuk OR temperatur_Ambient is sedang OR temperatur_Ambient is hangat OR temperatur_Ambient is agak_Panas OR temperatur_Ambient is panas THEN heater is zero.

Keunggulan Rule SUR-AM ini adalah mengurangi time delay (Waktu tunda) terhadap respons aktuator, dimana untuk mengaktifkan aktuator tidak perlu sampai proses pengaruh energi surya pada temperatur dan humiditi ruang pengering dan/atau pengaruh ke perubahan Moisture Content. Tetapi dengan mengetahui besaran energi surya dan temperature ambient kita dapat menentukan ON/OFF aktuator

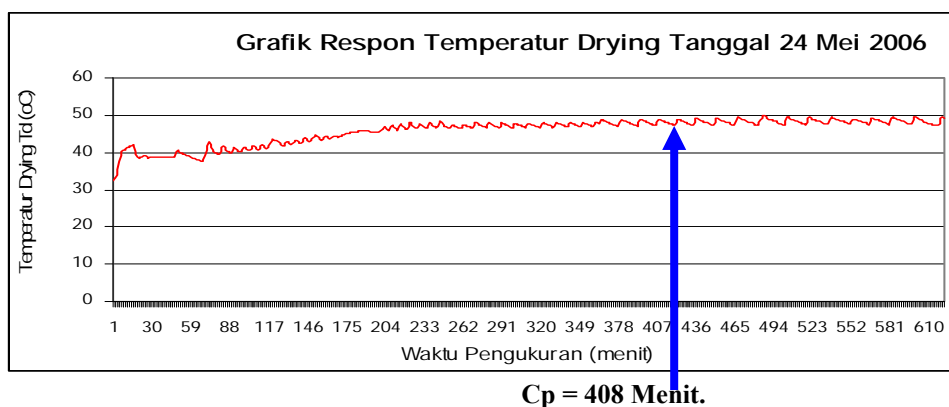
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Defuzzifikasi terhadap aktuator (heater, sprayer dan damper) dalam keadaan ON, dihasilkan berdasarkan data pengukuran, melalui step respon, sampai harga yang diinginkan. Misalnya Heater (ON) = Waktu Long-Medium-Short-Zero, diperoleh dengan cara ujicoba/pengalaman pada sistem prototype alat pengering kayu tenaga panas surya, melalui step respon sesuai gambar 7. Ini dilakukan untuk kondisi radiasi surya dan temperature ambient yang berbeda-beda.



Gambar 7. Grafik penentuan step respon heater pada Pengering Kayu Tenaga Panas Surya

Keuntungannya bahwa heater sebagai pemanas akan relatif mudah menentukan berapa lama dalam keadaan ON, karena berdasarkan hasil pengukuran riil. Priode control pemanasan diperoleh dari step respon temperatur pada gambar 8.



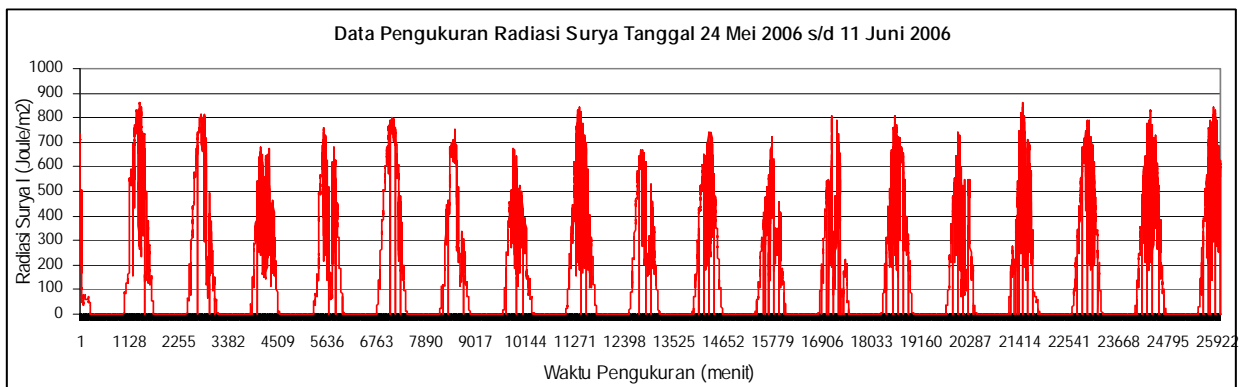
Gambar 8. Penentuan control priode dari step respon temperatur

Karena pencapaian temperature pengering dari 30⁰C ke 50⁰C terjadi pada menit ke 408 menit , Maka waktu yang diperlukan untuk pemanasan 1 ⁰C adalah: 20 menit. Defuzzifikasi untuk control energy surya dan temperature ambient dilakukan dengan rule sesuai tabel 4. maka waktu ON heater, diberikan pada tabel 5.

Tabel .5. Waktu ON heater (menit) sesuai keadaan cuaca

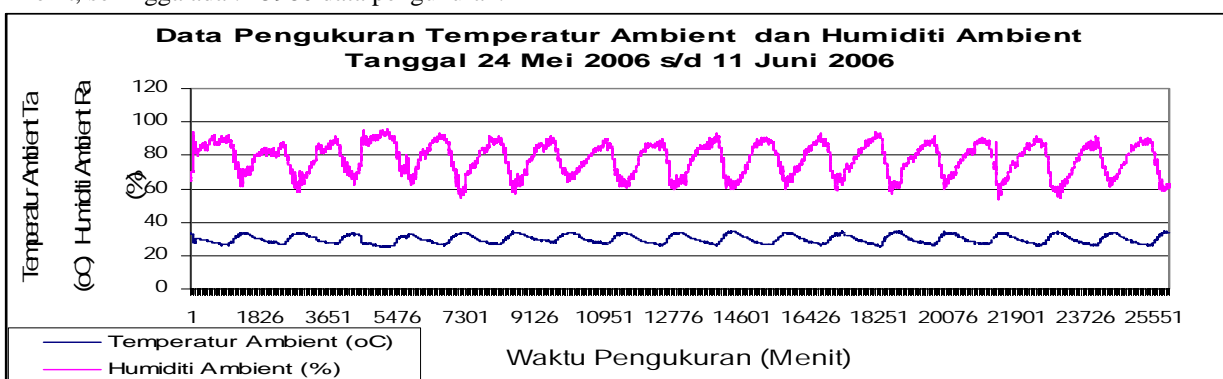
Cuaca T _a	Sangat Mendung	Mendung	Sedang	Cerah	Sangat Cerah
Dingin	20	15	8	4	0
Agak dingin	20	15	8	4	0
sejuk	20	15	8	0	0
sedang	20	15	8	0	0
hangat	20	15	6	0	0
Agak panas	20	10	6	0	0
panas	18	10	6	0	0

Pengukuran Radiasi Surya ini dimulai tanggal 24 Mei 2006 Pukul : 13:36 sampai dengan tanggal 11 Juni 2006 Pukul : 14 :35. Pengambilan data dilakukan setiap 1 menit, sehingga ada : 25980 data pengukuran, seperti terlihat pada gambar 9.



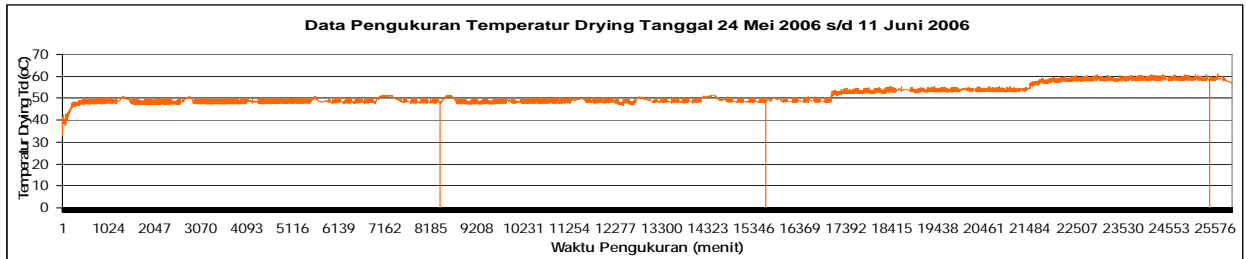
Gambar 9. Hasil Pengukuran Radiasi Surya : 24 Mei 2006 s/d 11 Juni 2006

Gambar 10 memperlihatkan hasil pengukuran Temperatur Ambient dan Humiditi Ambient ini dimulai tanggal 24 Mei 2006 Pukul : 13:36 sampai dengan tanggal 11 Juni 2006 Pukul : 14 :35. Pengambilan data dilakukan setiap 1 menit, sehingga ada : 25980 data pengukuran.



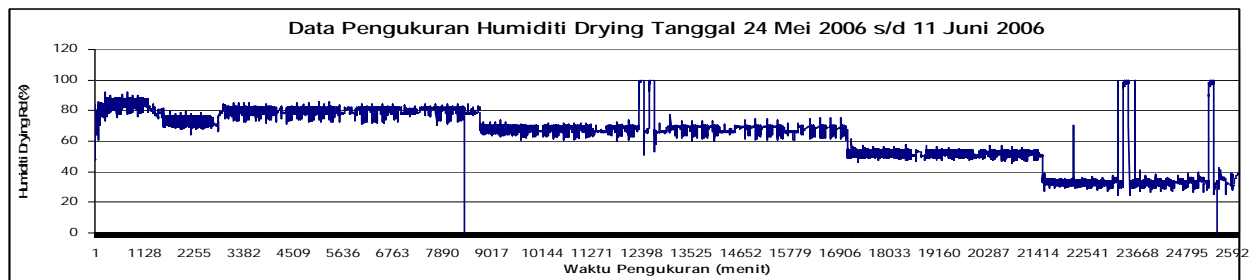
Gambar 10. Hasil Pengukuran Temperatur Ambient dan Humiditi Ambient : 24 Mei 2006 s/d 11 Juni 2006

Gambar 11. memperlihatkan hasil pengukuran Temperatur Drying ini dimulai tanggal 24 Mei 2006 Pukul : 13:36 sampai dengan tanggal 11 Juni 2006 Pukul : 14 :35, sebagai hasil control energi surya dan temperature ambient, engambilan data dilakukan setiap 1 menit, sehingga ada : 25980 data pengukuran.



Gambar 11. Hasil Pengukuran Temperatur Drying : 24 Mei 2006 s/d 11 Juni 2006

Pengukuran Humiditi Drying juga dilakukan dimulai tanggal 24 Mei 2006 Pukul : 13:36 sampai dengan tanggal 11 Juni 2006 Pukul : 14 :35, dengan pengambilan data dilakukan setiap 1 menit, sehingga ada : 25980 data pengukuran, seperti terlihat pada gambar 12.



Gambar 12. Hasil Pengukuran Humiditi Drying : 24 Mei 2006 s/d 11 Juni 2006

Penerapan fuzzy controller pada alat pengering kayu tenaga panas surya, dalam mempertahankan kondisi ruang pengering pada nilai set point, memanfaatkan *rule Sur-Am* untuk control heater memberikan hasil yang cukup stabil. Pengalaman dalam melakukan pendekatan-pendekatan untuk memnentukan labelisasi dan batasan besaran untuk membership function merupakan hal yang pokok dilakukan. Dari hasil analisa diperoleh bahwa factor pengalaman akan memberikan alasan yang kuat untuk mendesain dan modifikasi membership function ini.

Dalam menggunakan penjadwalan ini banyak kendala-kendala implementasi yang dihadapi diantaranya belum halus dan handalnya (*robust*) lintasan/track dari variabel-variabel yang diamati mengikuti jadwal pengeringan, yang disebabkan oleh kurang adaptifnya aktuator akan perubahan-perubahan variabel yang terjadi. Dalam perubahan tahapan proses selalu melakukan set-point pada setiap tahapan proses karena belum bekerja secara otomatis. Belum optimalnya pemakaian energy yang diperoleh dari cahaya surya akibat belum terkontrolnya aktuator.

Pengalaman akan pengujian sangat menentukan dalam penerapan fuzzy controller pada alat pengering kayu tenaga panas surya ini, dimana jika handalnya untuk mendapatkan sistem yang handal (*robust*) lintasan/track terhadap variabel-variabel yang diamati mengikuti jadwal pengeringan, perlu lebih mempececil range daerah labelisasi dengan memperbanyak jumlah variable membership function.

5. KESIMPULAN

Proses pengeringan kayu mengikuti jadwal pengeringan, dan dalam penerapannya diperoleh banyak kendala-kendala implementasi antara lain kurang halus dan *robust*-nya lintasan track dari variabel-variabel yang diamati terhadap skedul pengeringan karena kurang adaptif akan perubahan-perubahan variabel yang terjadi, selalu melakukan set-point pada setiap tahapan proses, dan tidak optimal pemakaian energy yang digunakan akibat tidak terkontrolnya aktuator.

Rule *Sur-Am* pada kontrol heater yang digunakan pada alat pengering kayu tenaga surya, memberikan salah satu solusi memanfaatkan operator logika fuzzy yang diimplementasikan pada alat pengering kayu tenaga surya. Kinerja fuzzy controller ini sangat mengoptimalkan pemakaian energi surya, untuk meminimalkan konsumsi energi listrik oleh heater. Sebagai saran dalam penelitian ini, baiklah memanfaatkan control Moisture Content, dan control variable ukur lainnya serta memperbanyak variable-variabel lain agar leih smooth lintasan dan hemat energi elektrik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Buckley, J.J., 1997**, "Universal Fuzzy Controllers", *Automatica*, 33, 1771-1773, Pergamon-Press.
- Dion, J.M., L.Dugard, A.Pranco, N.M. Tri, J.W.Horwood., 1991**, "MIMO Adaptive Constrained Predictive Control Case Study : An Environmental Test Chamber", *Automatica*, 27, 611- 626, Pergamon-Press
- Joshi, C.B., B.D.Pradhan, and T.P.Pathak, 1999**, Application of Solar Drying Systems in Rural Nepal, Research Center for Applied Science and Technology (RECAST) Tribhuvan University, Kathmandu Nepal.
- Klir, J.G., Bo Yuan, 1995**, "Fuzzy Sets and Fuzzy Logic (Theory and Applications)", Prentice-Hall International, Inc, New Jersey
- Kumagai Gumi Co, Ltd, 1996**, "Solar Heat Timber Dry System Data Logging Panel and Sensor", Chino Corporation
- Larsson, R., 2003**, Implementation of Adaptive Control Systems in Industrial Dry Kiln, 8th International IUFRO Wood Drying Conference, page 397 – 400.
- Laurenzi, W., V.Popa, Gh.Comsa, 2003**, Computer Aided Design Of Drying Schedules In Order To Control The Drying Process, 8th International IUFRO Wood Drying Conference, page 302 – 307.
- Müller, J., 2007**, Solar Drying Kilns for Wood, Thermo-System Industrie- und Troknungstechnik GmbH, Germany, www.thermo-system.com, 23-11-2007
- Nogueira, A., et all, 2005**, Simulation and control strategies for an energetically efficient wood drying process, EFITA/WCCA Joint Congress on IT in Agriculture, Vila Real Portugal, page 244 -251.
- Oliver, H., and Thomas Doersam, 1995.**, "Process Automation using Adaptive Fuzzy Control"., Proceedings of the 2nd New Zealand Two-Stream International Conference on Artificial Neural Networks and Expert Systems (ANNES'95) ©1995 IEEE
- Patrick P.K. L., and Natalie R.Spooner, 1995**, "Climatic control of a storage chamber using fuzzy logic", Proceedings of the 2nd New Zealand Two Stream International Conference on Artificial Neural Networks and Expert Systems (ANNES'95) © 1995 IEEE
- Pham.T.D., 2002.**, "A New Approach for Calculating Implications of Fuzzy Rules'., Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Artificial Intelligence Systems (ICAIS'02)
- Ray. D.C., Neelesh Gataani., Enrique Del Castillo. And Paul Blankenhorn, 2005**, Time Series Techniques for Dynamics: real time control of Wood-Drying Processes, *Forrest Products Journal*, Vol 55., No. 10., pp. 64 - 71
- Silaban.M., S.Busono., M.Yamada., Y.Hattori., 1997**, "Rancang Bangun Proyek Percontohan Pengering Kayu Tenaga Panas Surya Kapasitas 100 m³.", UPT-LSD, BPPT Puspiptek Serpong.
- Situmorang, Z., Karyono, 2007.**, . Aspek Ketidakpastian Pada Pengukuran Moisture Content., Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi USD Yogyakarta, 7 Nopember 2007, ISBN : 978-979-16967-0-8
- Situmorang, Z., Retantyo Wardoyo, 2006**, Desain Hybrid Intelligence Fuzzy Controller untuk Alat Pengering Kayu Tenaga Panas Surya, *Media Unika Tahun*. 18 No. 60 (Mei-Juni) 2006, ISSN 0852 – 1832, hal. 375 - 396.
- Situmorang, Z., Retantyo Wardoyo, Sri Hartati., 2006a**, Implementasi Fuzzy Logic Pada alat pengering Kayu Tenaga Panas Surya, *Media Unika Tahun* 18 No. 61 (Juli-Agustus) 2006, hal. 616-632 ISSN 0852-1832
- Situmorang, Z., Retantyo Wardoyo, Sri Hartati., 2006b**, Fuzzy Logic Controller Pada Sistem Proses Menggunakan Sistem Multi Agen, *Media Unika Tahun* 18 No. 61 (Juli-Agustus) 2006, hal. 633-657 ISSN 0852-1832
- Situmorang, Z., Sri Hartati. 2006**, Penentuan Penguatan Optimal Fuzzy Controller., *Media Unika Tahun*. 18 No. 61 (Juli-Agustus) 2006, ISSN 0852 – 1832, hal. 570 - 605.
- Situmorang, Z., Retantyo Wardoyo., Sri Hartati., Jazi Eko Istiyanto, 2007a.**, . Penalaran Data Dengan Modifikasi Nilai Membership Function Fuzzy Logic Controller., Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi USD Yogyakarta, 7 Nopember 2007, ISBN : 978-979-16967-0-8.
- Situmorang, Z., Retantyo Wardoyo., Sri Hartati., Jazi Eko Istiyanto, 2007b.**, . Penjadwalan Penguatan Optimal Fuzzy Controller Dengan Konsep Multi Sistem Pada Alat Pengering Kayu Tenaga Panas Surya., Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi USD Yogyakarta, 7 Nopember 2007, ISBN : 978-979-16967-0-8.
- Situmorang, Z., Retantyo Wardoyo., Sri Hartati., Jazi Eko Istiyanto, 2007c.**, Implementasi Fuzzy Logic dengan Metode CBR Pada Sistem Proses Pengering Kayu, *Media Unika Tahun* 19 No. 69 (Nopember-Desember) 2007, hal. 736-763 ISSN 0852-1832.
- Solar Kiln Designs --- Solar Heated, Lumber Dry Kiln Designs**
[http://www.woodweb.com/knowledge base/Solar Kiln Designs 2.html](http://www.woodweb.com/knowledge_base/Solar_Kiln_Designs_2.html), 27-11-2007
- Skuratov. N.V., 2003**, Computer Simulation and Dry Kiln Control, 8th International IUFRO Wood Drying Conference, page 406 – 412

- Sumarsono, M., Suryo Busono, Zakarias Situmorang, 1999**, Proses Pengeringan Pada Alat Pengering Kayu Tenaga Panas Surya Kapasitas 100 m³, Prosiding Seminar Teknologi Pengeringan Dalam Pembagunan Industri Pengolahan Kayu, UPT-LSDE Direktorat Konversi dan Konservasi Energi BPPT – NEDO-ENAA Japan- Kantor Wilayah Departemen Perindustrian dan Perdagangan Propinsi Bali.
- Tang.K.S., Kim Funh Man, Guanrong Chen, and Sam Kwong, 2001.**, "An Optimal Fuzzy PID Controller". IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vo. 48, NO. 4, pp. 757 – 765
- Wang. L.X.**, 1997, "A Course in Fuzzy Systems And Control", Prentice-Hall International, Inc, New-Jersey
- Wang.Y., Huiwen Deng, and Zheng Chen, 2005.**, " Adaptive Fuzzy Logic Controller with Rule-based Changeable Universe Of Discourse for a Nonlinier MIMO System."Proceedings of the 2005 5th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA'05) © IEEE
- Wang, X.G. Liu, W. Gu, L. Sun, C.J. Gu, C.E. de Silva, C.W., 2001**, Development of An Intelligent Control System for wood drying proceeses , Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings. 2001 IEEE/ASME International Conference. Vol.I, page : 371 – 376.
- Widlak, H., Jerzy Majka, 2004**, Investigation Of Relation Between Moisture Content Decrease and Water Mass Flow Removed From A Kiln, Electronic Journal Of Polish Agricultural niversities – Wood Technology Vol.7 Issue 2
- Yamada.M., M.Silaban, R.Musta, D.Fahrudin, R.Enrino, 1998.**, " Outline of the Experiment and Interim Evaluation"., UPT-LSDE Puspiptek Serpong
- Zadeh, L.A, 1965**, " Fuzzy Sets" *Information and Control*, vol.8, hal 338-353